

Tema III

Sensors Resistius

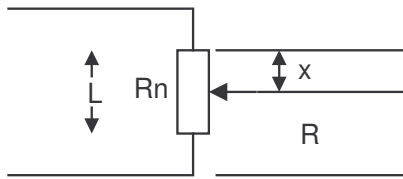
Contingut

- Sensors de posició (potenciòmètrics)
- Sensors de Força (Galgues)
- Sensors de Temperatura
 - RTDs
 - Termistors (PTCs i NTCs)
- Sensors de Camp Magnètic
- Sensors de Llum
- Sensors d'humitat

Sensors Potenciomètrics

- Potenciòmetre

- Resistència amb contacte mòbil (deslligant o giratori)



$$R = \frac{1}{\sigma A} (L - x) = \frac{1}{\sigma A} L(1 - \alpha)$$

α = fracció de longitud corresponent

- Idealitat

- Resistència uniforme al llarg de L (això no és 100% vàlid, s'acota la linealitat del potenciòmetre)
- Cursor es mou de forma continua i no a bots (resolució infinita) (realment això no és compleix tampoc 100%)
- Resistència ideal (no presenta característiques capacitives o inductives) (efecte que pot ser important a freqüències altes)
- T ctant. (normalment R varia amb T i en dissipar P s'escalfen)

Sensors Potenciomètrics

- Aplicació a desplaçaments i girs

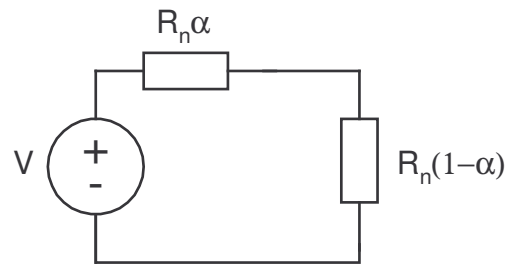
- sistema mecànic adequat

- Especificacions bàsiques

- Marge (2mm a 8m, 10º a 60 voltes)
- Linealitat (0.002 a 0.1 %)
- Resolució (50 µm , 0.2 a 2º)
- Potència (100mW a 50W)
- Fmax (3Hz)
- Quoficient Temperatura (20 a 1000 millonèssimes/ºC)
- Vida (400 milions de cicles)

Sensors Potenciomètrics

- Impedància de sortida del sensor depèn de la posició
 - exercici (vegem-ho)



- Aplicacions
 - mesura de desplaçaments
 - mesura de posició
 - mesura de girs
 - mesura de pressió, ...

Sensors de Força

- Galgues extensiomètriques: lleis físiques
 - Efecte piezorresistiu: Variació de resistència d'un conductor quan es veu sotmès a un esforç mecànic

$$\frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dV}{V}$$

C = constant de Bridgman
(1.13-1.15 a al.leacions típiques de galgues, 4 al platí)

- Llei de Hooke $\sigma = E\varepsilon$

amb $\sigma = \frac{F}{A}$ $\varepsilon = \frac{dl}{l}$

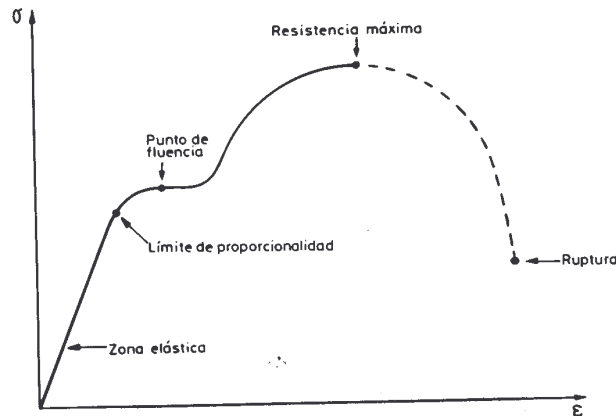
σ = tensió mecànica o esforç
 ε = deformació unitària
 E = mòdul de Young
 (constant del material)

- Llei de Poisson $\mu = \frac{-\frac{dt}{t}}{\frac{dl}{l}}$

geometria tridimensional: amplaria t , longitud l
 esforç longitudinal $\Rightarrow$ canvi no només a l ,
 també a t

Sensor de Força

- Limitacions de funcionament importants
 - Relació esforç-deformació (Llei de Hooke) **no** sempre constant



- S'ha de treballar en **zona elàstica**

Sensor de Força

- Suposem fil de longitud l i secció A $R = \rho \frac{l}{A}$
- Si s'estira en la direcció de l $\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dA}{A}$
- Considerem fil cilíndric

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \Rightarrow \frac{dA}{A} = \frac{2dD}{D} = -2\mu \frac{dl}{l}$$

$$V = \pi l \frac{D^2}{4} \Rightarrow \frac{dV}{V} = \frac{dl}{l} + 2 \frac{dD}{D} \Rightarrow \frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dl}{l} (1 - 2\mu)$$

- Per tant

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} [1 + 2\mu + C(1 - 2\mu)] = K \frac{dl}{l} \Rightarrow \frac{dR}{R} = K \epsilon$$

K = factor de sensibilitat de la galga estándar 2, Platí 6

Sensor de Força

- En definitiva una galga compleix la següent llei

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K\varepsilon \quad \text{amb} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

R_0 , resistència en repòs l_0 , longitud en repòs

K , factor de sensibilitat de la galga (aprox 2 (al platí 6))

ε , deformació unitària

- Problema: molt poca sensibilitat, ja que $\varepsilon < 10^{-3}$ (condicionament no senzill)

- Variacions solen ser inferiors bastant inferiors al 1% de R

- Galgues amb semiconductors: K molt més gran

- Fenòmen no lineal, efecte de segon ordre

– Tipus N $\frac{dR}{R} = 119.5\varepsilon + 4\varepsilon^2$

– Tipus P (exemple numèric) $\frac{dR}{R} = -110\varepsilon + 10\varepsilon^2$

Sensor de Força

- Galga, montatge i característiques

- Marge de mesura (0.1-40000 $\mu\varepsilon$)
- Sensibilitat (1.8-2.35)
- R (120, 350, 600, ... 5K)
- Tolerància a R (0.1-0.2%)
- Tamany (0.4-150mm)

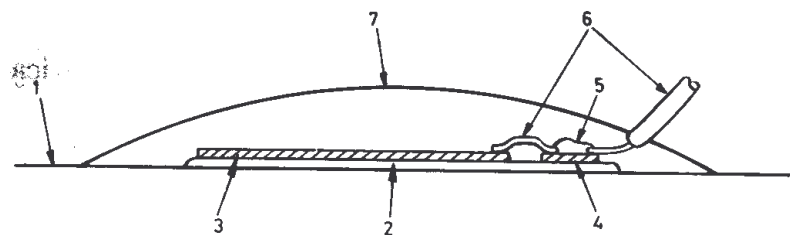
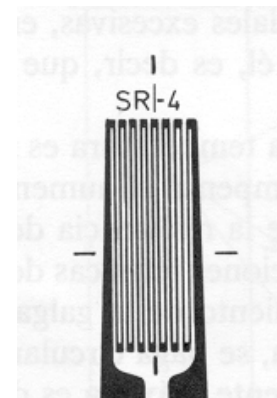
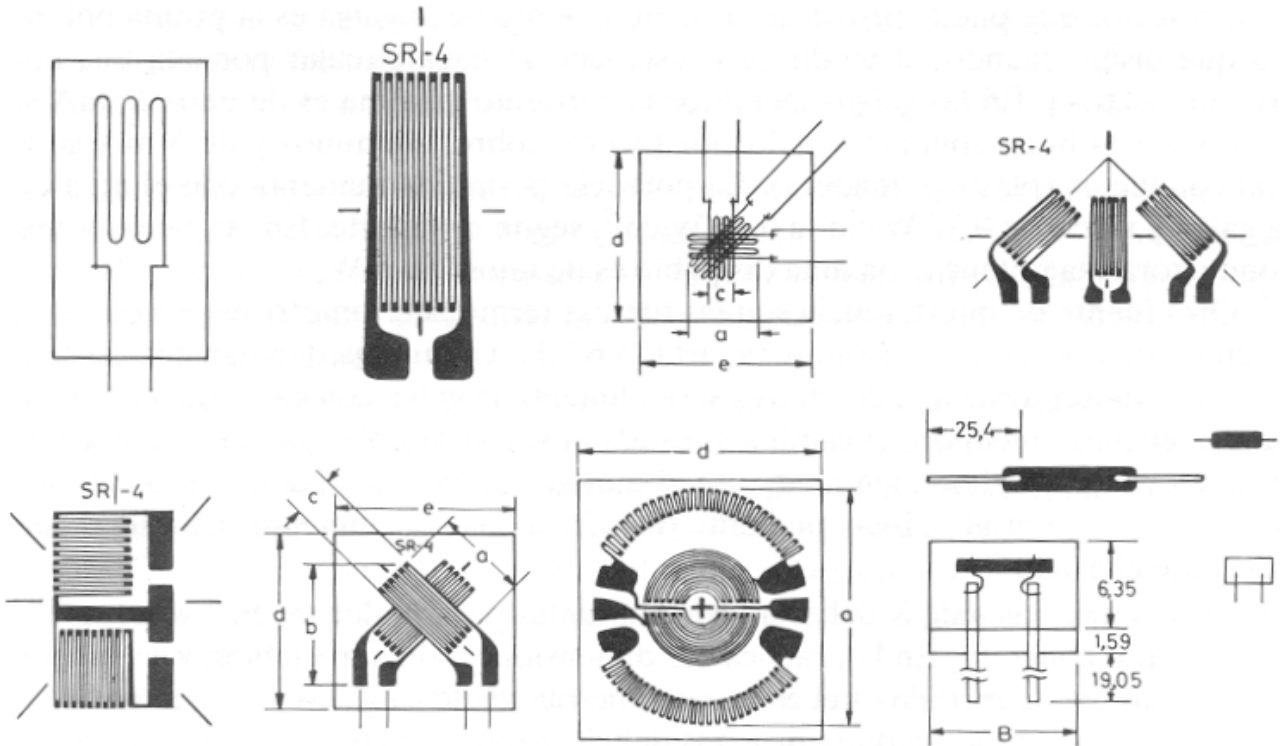


Figura 2.6. Montaje de una galga impresa (Documentación BLH Electronics). 1 Substrato donde se monta; 2 Adhesivo; 3 Galga; 4 Terminales para soldar; 5 Soldadura; 6 Hilos de conexión; 7 Aislamiento protector.

Sensor de Força

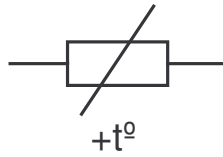


Sensor de Força

- Consideracions
 - Esforç no gran (sempre dins la zona elàstica)
 - Esforç transmés totalment a la galga
 - Esforços plans al pla de la galga
 - Temperatura pot fer variar les resistències de les galgues
 - mesures diferencials
 - (dues galgues, una sotmesa a l'esforç i l'altre no)
- Aplicacions
 - mesura d'esforços
 - mesura de vibracions
 - balances
 - pressió
 - cabdal, ...

RTD

- Resistance Temperatura Detector
 - També PRT (platinum resistance thermometer)



- Fonament
 - Variació de resistència d'un conductor amb la Temperatura
 - n° electrons independent de temperatura
 - si T augmenta, augmenta vibració dels àtoms de la xarxa
 - dispersió major d'electrons, disminució velocitat mitja
 - empitjora la conductivitat,  Augmenta R

$$R = R_0 (1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + \dots + \alpha_n T^n)$$

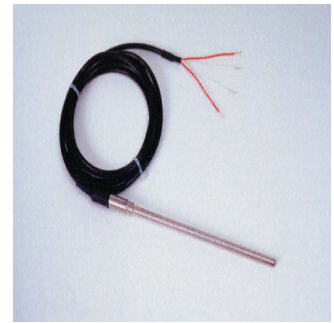
RTD

- Limitacions
 - Temperatures menors que la de fusió del material
 - Transductor a T de mesura (evitar escalfaments deguts al circuit de mesura)
 - Evitar deformacions mecàniques (pot implicar variacions de R)
 - Convé comportament lineal
 - limitacions en marges de mesura
 - limitacions en tipus de conductors

$$R = R_0 (1 + \alpha T)$$

RTD

- Niquel més sensible, rang menor
- Platí millors prestacions (Pt100)
- Models per immersió en fluids
- Models per mesura de temperatures superficials

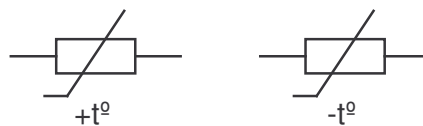


	platí	Coure	Niquel
resistivitat a 20°C($\mu\Omega\text{cm}$)	10.6	1.67	6.84
α	0.0038	0.0043	0.00681
R0 (T=0)	25,50,100,200,500	10,20	50,100,120
rang	-200,850	-200, 260	-80, 320

- Mesura de la velocitat d'un fluid (anemometria de fil calent)
 - fil dins fluid
 - circulació de corrent pel fil (escalfament)
 - pas de fluid refreda el fil (en funció de la velocitat)

Termistors

- Se basen en semiconductors.



- PTC i NTC (positive & negative temperature coefficient)
- Fonament
 - Dependència de la resistència d'un semiconductor amb la temperatura (degut a la variació del nombre de portadors) (això explica NTC)
 - Si el semiconductor es dopa molt, presenten característiques de metalls (això explica el comportament PTC)

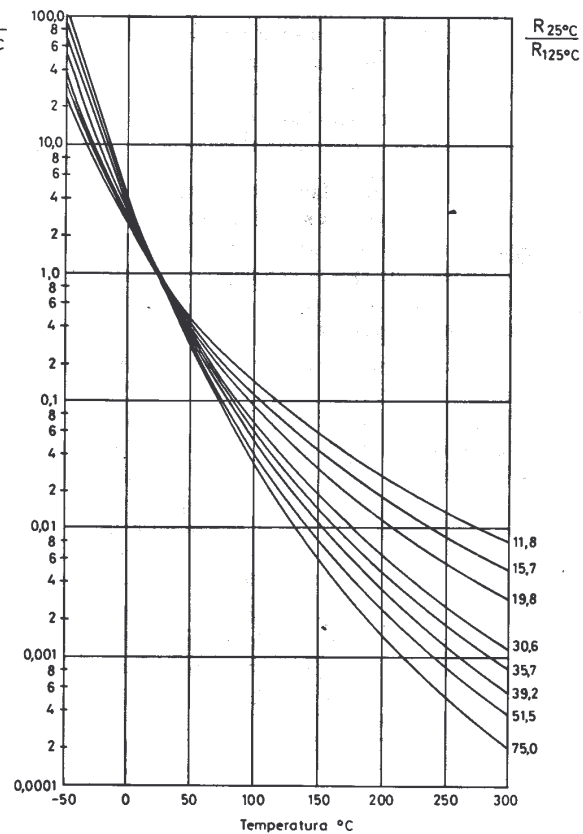
Termistors

- $R(T)$ per distints NTCs

$$R_T = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

T_0 normalment 25°C,
 R_0 resistència a T_0

B = paràmetre temperatura característica del material
 (valors típics 4000K)



Termistors

- Definim sensibilitat

$$\alpha = \frac{dR_T / dT}{R_T} = -\frac{B}{T^2}$$

- Es veu que depèn de T
- A 25°C i amb $B=4000$ $\alpha = -4.5\%/K$ (molt major que a Pt100)
- Major sensibilitat i menor linealitat

- Diferents models depenent del marge d'error

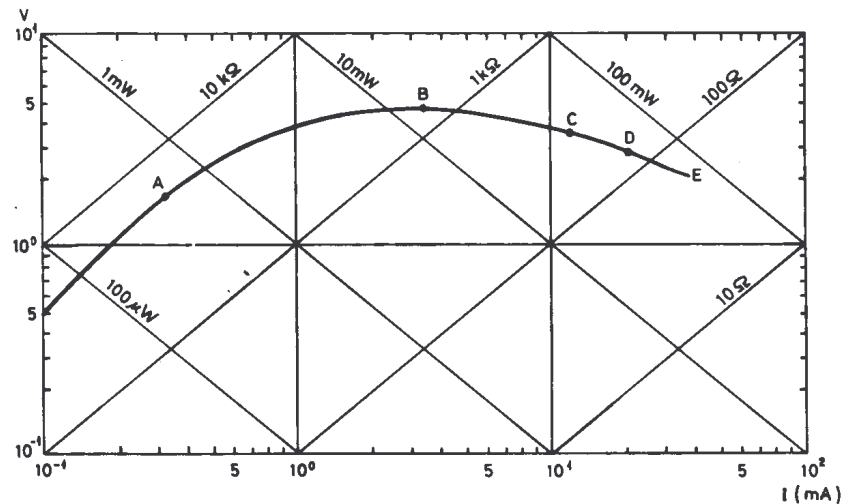
$$R_T = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad \longrightarrow \quad 0-50^\circ \quad 0.6\%$$

$$R_T = R_0 e^{\left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^3} \right)} \quad \longrightarrow \quad 0-100^\circ \quad 0.01\%$$

$$R_T = R_0 e^{\left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3} \right)} \quad \longrightarrow \quad 0-100^\circ \quad 0.0015\%$$

Termistors

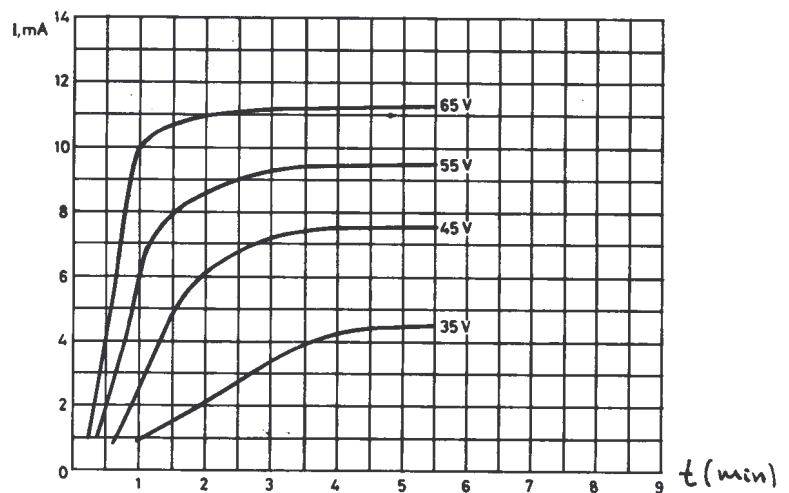
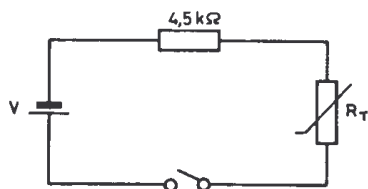
- Corba V-I



- corrent baix, tensió proporcional a corrent
 - util per mesurar temperatura
- corrent més alt (A), autoescalfament, variació resistència
 - util per mesurar cabdal, ...

Termistors

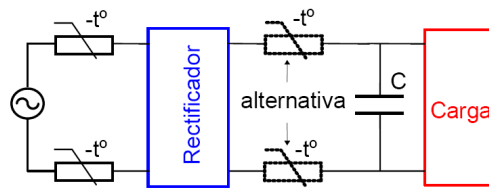
- Repota transitoria
 - Ex. engegament de motors elèctrics (NTC)



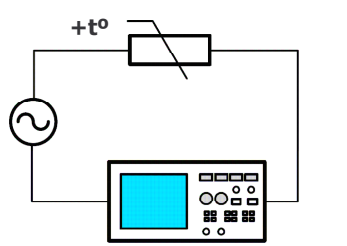
Termistors

- Reposta transitoria

- Engegar un circuit elèctric (supresió de transitoris) NTC

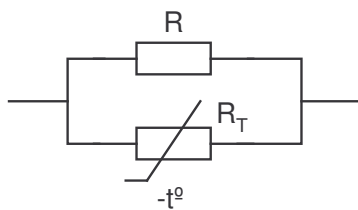


- Protecció contra sobrecorrents (fusible reutilitzable) PTC



Termistors

- Linealització

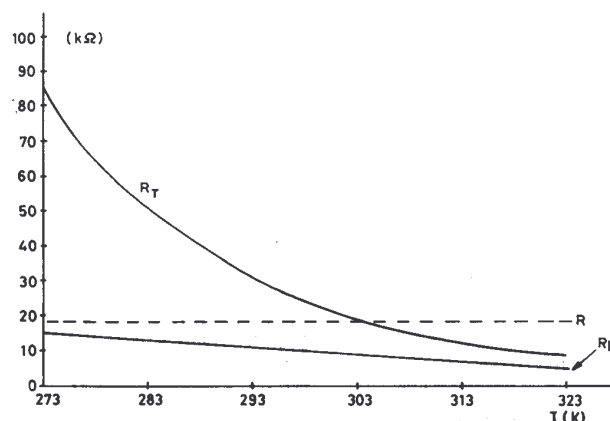


$$R_P = \frac{R R_T}{R + R_T}$$

Menor que la unitat

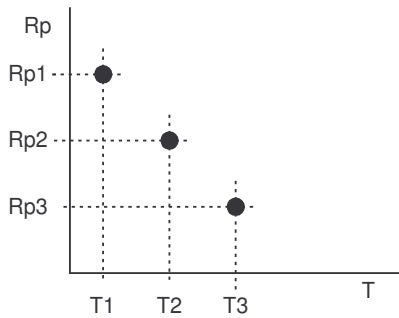
$$\frac{dR_P}{dT} = \frac{R^2}{(R + R_T)^2} \frac{dR_T}{dT} < \frac{dR_T}{dT}$$

- Pèrdua de sensibilitat, guany en linealitat



Termistors

- Exercici pràctic :
 - Selecció de R en paral·lel per a la linealització
 - 1) forçam tres punts de pas a la corba R-T
 - a tres temperatures equidistants Rp damunt una recta



$$R_{P1} - R_{P2} = R_{P2} - R_{P3}$$

$$\frac{RR_{T1}}{R + R_{T1}} - \frac{RR_{T2}}{R + R_{T2}} = \frac{RR_{T2}}{R + R_{T2}} - \frac{RR_{T3}}{R + R_{T3}}$$

$$R = \frac{R_{T2}(R_{T1} + R_{T3}) - 2R_{T1}R_{T3}}{R_{T1} + R_{T3} - 2R_{T2}}$$

- Així aprox. linealitat al voltant dels tres punts

Termistors

- 2) Forçar punt d'inflexió a la corba R(T) just a la temperatura central
 - S'obté linealitat ara al voltant del punt central
 - Exercici:

$$R = R_{TC} \frac{B - 2T_C}{B + 2T_C}$$

Magnetorresistències

- Si s'aplica un camp B a un conductor pel que circula un corrent I, hi ha reducció del corrent degut a la desviació dels electrons de la seva trajectòria ➡ Resistència augmenta
- Aplicacions
 - mesura directa de camps magnètics
 - registres magnètics d'àudio
 - lectors de targetes de credit
 - lectors de codis de barres
 - mesures indirectes a partir de variacions de camps magnètics
 - desplaçaments (el mòbil ha de provocar canvi de B (incorporació imans, elements metàl·lics, etc, ...))

Fotorresistències (LDR)

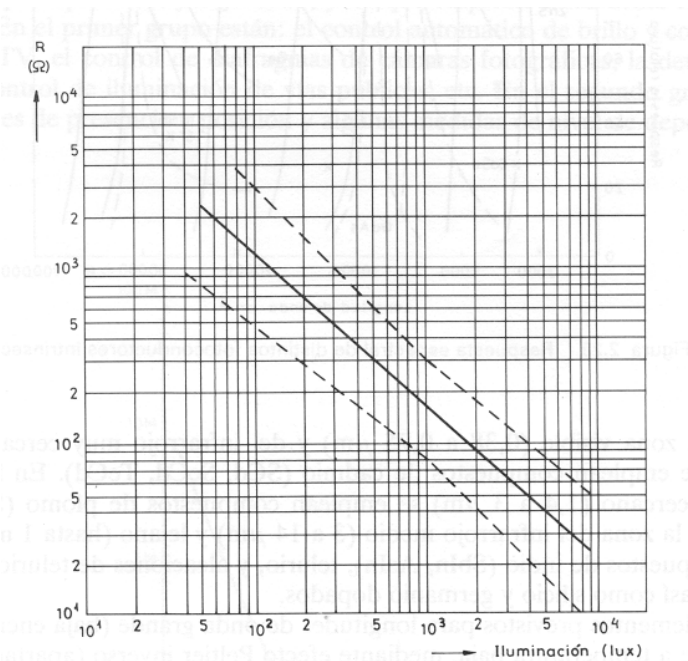
- Variació de R d'un semiconductor quan incideix radiació òptica (radiació electromagnètica amb longitud d'ona entre 1mm i 10nm)
 - Conductivitat del material depèn del nombre de portadors a la banda de conducció.
 - A T baixa portadors a la banda de valència
 - Si reben E suficient (superior a E_{gap}) passen a banda conducció
 - Si E es proporcionada per radiació òptica

$$E = hf$$

- A major il.luminació, major conductivitat (menor resistivitat)

Fotorresistències LDR

- Exemple de corba de comportament



$$R = AE^{-\alpha}$$

A i α depenen del material, condicions de fabricació, etc.

- Llum, oscuritat, gran variació de resistència (4 ordres)

Fotorresistències LDR

- Aplicacions
 - mesura de llum
 - control il.luminació
 - detecció d'incendis
 - control diafragmes a fotografia
 - Control automàtic de brillo,
 - ...

Sensors d'humitat

- Humitat
 - quantitat de vapor d'aigua present a un gas
 - quantitat d'aigua absorbida en un líquid o sòlid
 - humitat absoluta (g/m^3)
- Normalment es mesura la humitat relativa
 - relació entre pressió parcial del vapor d'aigua present i la necessària perquè es doni saturació a una T donada
- Fonament
 - descens brusc de resistivitat quan augmenta la humitat
 - variació de capacitat (sensor de capacitat, no sensor resistiu)

Sensor d'humitat

- Ex. de forma i resposta

